

### Hydraulische Servolenkung

Die Erfindung betrifft eine hydraulische Servolenkung mit einem Lenkgetriebe und mit einem hydraulischen Aktuator zur Unterstützung einer Lenkradbetätigung durch den Fahrer eines Fahrzeugs, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, mit einem an die Lenksäule angekoppelten Elektromotor als Zusatzmoment-Aktuator zur aktiven Aufbringung eines Zusatz-Lenkmoments, und mit einer elektronischen Steuerungs- und Regelungseinheit (ECU).

Die Erfindung betrifft ebenso ein Verfahren zur Regelung einer hydraulischen Servolenkung, bei dem die Lenkradbetätigung durch den Fahrer eines Fahrzeugs, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, mit einer hydraulischen Kraft bzw. Druck unterstützt wird und bei dem durch einen an die Lenksäule angekoppelten Elektromotor als Zusatzmoment-Aktuator ein Zusatz-Lenkmoments aktiv aufgebracht wird durch eine elektronische Steuerung bzw. Regelung des Elektromotors.

Heutige Kraftfahrzeuge, insbesondere Personenkraftwagen, sind in der Regel mit hydraulischen oder elektrohydraulischen Servolenkungen ausgestattet, im folgenden als „hydraulische Servolenkungen“ bezeichnet. Die Servounterstützung ist derart aufgebaut, dass im Mittelbereich des Lenkmechanismus Aktuatoren, z.B. Hydraulikzylinder, angeordnet sind. Durch eine von den Aktuatoren erzeugte Kraft wird die Betätigung des Lenkmechanismus in Reaktion auf die Drehung des Lenkrads unterstützt (Momentenunterstützung). Das zum Lenken des

Fahrzeugs aufzubringende Moment wird so verringert und der Fahrer bei der Lenktätigkeit entlastet.

Es ist bekannt, die Momentenunterstützung oder die Verstärkung der Lenkung geschwindigkeitsabhängig auszulegen. Bei niedrigen Fahrzeuggeschwindigkeiten, wie sie für das Einparken oder Ausparken typisch sind, wird eine sehr leichtgängige Lenkung mit einer großen Momentenunterstützung bevorzugt, während bei schneller Fahrt eine schwergängigere Lenkung mit geringer Momentenunterstützung wünschenswert ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine hydraulische Servolenkung anzugeben, die es ermöglicht, eine variable Momentenunterstützung vorzusehen und dabei einfach in bereits vorhandene hydraulische Servolenkungen integrierbar ist.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Abhängige Ansprüche sind auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung gerichtet.

Unter dem Begriff „Lenkrad“ sind hier alle denkbaren Betätigungseinrichtungen zum Lenken eines Fahrzeugs, wie Lenkhandrads, Steuerknüppel oder „Joystick“, zu verstehen.

Wesentlich für die Erfindung ist es, dass die elektronische Steuerungs- und Regelungseinheit (ECU) eine Ermittlungseinheit zur Ermittlung eines Lenkmoments und eine Auswerte- und Auswahlhaltung aufweist, mittels der unter Berücksichtigung des ermittelten Lenkmoments oder einer davon abgeleiteten Größe sowie einer gewählten Lenkungs-Grundkennlinie (Grundkennlinie) ein Gesamtwert für das Aufbringen des Zusatz-Lenkmoments ermittelt wird, wobei

der Gesamtwert für das aufzubringende Zusatz-Lenkmoments einen fahrerabhängigen Anteil und einen fahrerunabhängigen Anteil aufweist.

Das Zusatz-Lenkmoments weist demnach einen im Grundsatz fahrerabhängigen Anteil auf, der einer Grundlenkfunktion, insbesondere einer fahrgeschwindigkeitsabhängigen Lenkungsunterstützung, z.B. Parameterlenkung, entspricht. Als weiterer Anteil ist ein im Grundsatz fahrerunabhängiger Anteil vorgesehen, mit dem Fahrerassistenzfunktionen realisiert werden. Damit sind z.B. Systeme zur Spurhaltung des Fahrzeugs (Lane-keeping) oder zur Unterstützung in hochdynamischen Fahrbahnsituationen, z.B. nach Maßgabe eines Fahrdynamiksystems (ESP-Systems), gemeint.

Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass zur Variation der Aufbringung des Zusatz-Lenkmoments verschiedene vorgegebene Kennlinien wählbar sind.

Es ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Kennlinie eine Verstärkungskennlinie darstellt, die das aufzubringende Zusatz-Lenkmoment in Abhängigkeit des vom Fahrer aufgebrauchten Lenkmoments sowie eines Verstärkungsfaktors übermittelt.

Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass durch eine vom Fahrer direkt oder indirekt vorgebbare Steuervariable ST verschiedene vorgegebene Kennlinien zur Variation der Aufbringung des Zusatz-Lenkmoments wählbar sind.

Nach der Erfindung ist es vorgesehen, dass die elektronische Steuerungs- und Regelungseinheit (ECU) redundant ausgeführt ist.

Es ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Elektromotor über ein Getriebe, vorzugsweise ein Riemengetriebe an die Lenksäule angekoppelt ist.

Nach der Erfindung es vorgesehen, dass die Verstärkungsfaktoren der verschiedenen Kennlinien in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit veränderbar sind.

Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass mittels des fahrerunabhängigen Anteils eine Lenkempfehlung für den Fahrer erfolgt.

Nach der Erfindung ist es vorgesehen, dass mittels des fahrerunabhängigen Anteils eine Stabilisierung des Fahrzeugs bzw. Erhöhung der Fahrzeugdynamik erfolgt.

Diese Ausführungsform ist besonders bevorzugt, da der Komfort und die Sicherheit in hochdynamischen oder sicherheitskritischen Fahrsituationen durch eine erfindungsgemäße Berücksichtigung fahrdynamischer Größen deutlich erhöht werden kann.

Es ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass mittels des fahrerunabhängigen Anteils eine Anpassung des Zusatz-Lenkradmoment an einen Fahrzeugkurs und einen Fahrbahnverlauf erfolgt.

Nach der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Variationen des Zusatz-Lenkmoments durch einen Skalierungsfaktor  $\lambda$  oder Verstärkungsfaktor  $V$  (mit  $V = 1/\lambda$ ) erfolgt.

Vorzugsweise wird der Skalierungsfaktor  $\lambda$  oder

Verstärkungsfaktor  $V$  (mit  $V = 1/\lambda$ ) momentenabhängig auf einen vorgegebenen Wert begrenzt. Das bedeutet, es wird, insbesondere nach Maßgabe des Verhältnisses von einem vom Fahrer maximal aufbringbaren Lenkmoment und einem aktuell vom Fahrer aufzubringenden Lenkmoment eine Begrenzung eingeführt, damit die Verstärkung der Lenkungsstärke insgesamt nicht einen bestimmten Wert unterschreitet.

Es ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Mittel zur aktiven Aufbringung des Zusatz-Lenkmoments als eine Einheit ausgebildet sind, die als ein Modul an einen lenkradseitigen Endabschnitt des Lenkventils einer hydraulischen Servolenkung angeordnet ist.

Die Aufgabe wird auch durch ein Verfahren gelöst, das dadurch gekennzeichnet ist, dass aus einem fahrerabhängigen Anteil und einem fahrerunabhängigen Anteil unter Berücksichtigung des Zusatz-Lenkmoments oder einer davon abgeleiteten Größe sowie einer vorgewählten Lenkungs-Grundkennlinie (Grundkennlinie) ein Gesamtwert für das Zusatz-Lenkmoment ermittelt wird.

Vorzugsweise wird bei dem Verfahren eine Variation der Aufbringung des Zusatz-Lenkmoments durch eine Auswahl einer Kennlinie aus mehreren verschiedenen, vorgegebenen Kennlinien vorgenommen.

Die Erfindung wird in der nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die Abbildungen (Fig.1 bis Fig.9) beispielhaft näher erläutert.

Fig.1 zeigt schematisch eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Servolenkung mit einem elektromechanischen Aktuator.

In der Fig.2 ist eine Grundkennlinie einer Servolenkung und eine modifizierte Kennlinie dargestellt.

In der Fig.3 ist eine Grundkennlinie einer Servolenkung und eine modifizierte Kennlinie mit einer Centerpunkt-Verschiebung dargestellt.

In der Fig.4a ist eine Grundkennlinie einer Servolenkung und zwei nach Maßgabe der Fahrzeuggeschwindigkeit durch einen Verstärkungsfaktor  $V$  modifizierte Kennlinien dargestellt.

In der Fig.4b ist eine Abhängigkeit des Verstärkungsfaktors  $V$  nach Maßgabe der Fahrzeuggeschwindigkeit dargestellt.

In der Fig.5 ist eine Ausführungsform für eine erfindungsgemäße Ermittlung eines Überlagerungs-Moments für die Ansteuerung des Elektromotors der Servolenkung dargestellt.

In der Fig.6 ist eine weitere Ausführungsform für eine erfindungsgemäße Ermittlung eines Überlagerungs-Moments für die Ansteuerung des Elektromotors der Servolenkung dargestellt.

Fig.7 zeigt schematisch eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Servolenkung mit einem elektromechanischen Aktuator und Ermittlung des Moments am Drehstab auf Grundlage von Signalen von Drucksensoren in den Arbeitskammern der Servolenkung.

In der Fig.8 ist die Ermittlung des Moments am Drehstab auf Grundlage von einem ermittelten hydraulischen Druck in den

Arbeitskammern der Servolenkung dargestellt.

Fig.9 zeigt schematisch eine dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Servolenkung mit einem elektromechanischen Aktuator und Ermittlung des Moments am Drehstab auf Grundlage von Signalen von Drehwinkelsensoren am Motor und an der Lenkradwelle der Servolenkung.

Das in der Fig.1 dargestellte Lenksystem besteht aus einem Lenkrad 1, einer mit dem Lenkrad 1 verbundenen Lenksäule 2 mit 2 Kreuzgelenken 3,4. Die Lenksäule 2 ist verbunden oder ein Teil einer Lenkradwelle 5, im folgenden auch als „Torsionsstab“ bezeichnet, die über ein Lenkgetriebe 6, eine Lenkstange 7, hier als Zahnstange 7 ausgebildet, die seitlich an der Zahnstange 7 befestigten Spurstangen 8,9 betätigt, und dadurch ein Verschwenken der Räder 10,11 bewirkt. Bei der hier gezeigten Zahnstangenlenkung wird eine hydraulische Unterstützung mittels einer von dem Antriebsmotor des Fahrzeugs, z.B. über einen Riementrieb 12, angetriebene hydraulische Pumpe 13 realisiert, die unter Druck stehende Druckflüssigkeit zu einem Lenkventil 14 über eine Leitung 15 liefert. Durch eine Rücklaufleitung 16 kann die Druckflüssigkeit zurück in einen Vorratsbehälter 17 strömen. In Geradeausstellung des Lenkrads fließt ein konstanter Ölstrom durch das in Neutralstellung stehende Lenkventil (offenen Mitte) und durch die Rücklaufleitung 16 zurück. Der Druck in 2 Kammern 18,19 eines an der Zahnstange 7 angeordneten Arbeitszylinders 20 ist dann gleich groß. Es erfolgt keine Lenkunterstützung. Beim Drehen des Lenkrads 1 wird die Zahnstange 7 und somit auch der Kolben 21 verschoben. Die Bewegung des Kolbens 21 wird durch den Druck der Druckflüssigkeit unterstützt. Dabei bewirkt das Ventil 14 zugleich, dass Druckflüssigkeit von einer Kammer in die

andere Kammer fließt, so dass insgesamt die Lenkbetätigung eine hydraulische Unterstützung erfährt.

Diese oben beschriebene konventionelle hydraulische Servolenkung weist zur Erzeugung eines Zusatz-Moments einen Elektromotor 23, eine redundante Steuerungseinheit ECU 24 zur Ansteuerung des Motors 23 und zur Auswertung von Signalen eines redundanten Lenkmomentensensors 25 auf. Vorzugsweise ist auch ein Sensors für die Motorlage 26 vorgesehen. Die elektronischen Bauteile sind an einer elektrischen Energiequelle 27 angeschlossen. Die Steuerungseinheit ECU 24 und Momentensensor sind vorzugsweise redundant ausgeführt.

Das Lenkradmoment oder Lenkmoment, welches durch die Lenksystemcharakteristik sowie die wirkenden Kräfte definiert ist, kann durch den E-Motor 23 aktiv beeinflusst werden, in dem dieser ein Zusatzmoment (Zusatz-Lenkmoment) erzeugt und auf die Lenkstange aufbringt. Es besteht die Möglichkeit das Moment dem konstruktiv vorgegebenen Lenkradmoment aufzuaddieren oder es von ihm abzuziehen. Die Übertragung des Motormoments kann mit oder ohne Übersetzung direkt oder, wie hier dargestellt, über ein Getriebe 28 erfolgen. Dabei kann ein Riemengetriebe, ein Schrauben-/Schneckengetriebe oder ein Stirnradgetriebe verwendet werden.

Bei Ausfall des E-Motor 23 und/oder der Steuerungseinheit ECU 24 bleibt die dem Fahrer bekannte Lenkungscharakteristik mit Servounterstützung erhalten. Der E-Motor 23 und die Steuerungseinheit ECU 24 ist dazu fail-silent ausgelegt. Das bedeutet, im Fehlerfall werden diese Bauteile abgeschaltet.



Mittels des Systems zur Erzeugung eines Zusatz-Moments kann vorteilhaft eine konventionelle Servolenkung ohne Modifikationen an der Charakteristik verwendet werden.

Mit der Erfindung ist es möglich, die Verstärkungskennlinie durch Erzeugung eines Zusatz-Moments zu variieren (siehe Fig.2). Die Verstärkungskennlinie bedeutet hier die Abhängigkeit des Lenkradmoments oder Betätigungsmoments  $M$  vom vorhandenen Systemdruck  $P$  der hydraulischen Unterstützung. Die Variationen des Zusatz-Lenkmoments erfolgt dabei vorzugsweise durch einen Verstärkungsfaktor  $V$  bzw. Skalierungsfaktor  $\lambda$ , wobei gilt  $V = 1 / \lambda$ . In dem gezeigten Beispiel wird das Moment A ( $M_{\text{Lenkung}}$ ) durch eine aktive Aufbringung eines Zusatzmoments B ( $M_{\text{Motor}}$ ) verringert. Dass bedeutet der Fahrer wird in seiner Lenktätigkeit stärker unterstützt. Es resultiert eine modifizierte Kennlinie (gestrichelte Kurve  $K_B$ ) mit einer geringeren Betätigungskraft gegenüber der ursprünglichen Kennlinie (durchgezogene Kurve  $K_A$ ). Durch diese Variation der Kennlinie kann eine aktive Fahrerassistenz realisiert werden. Durch die Momentenvariation wird eine Lenkempfehlung gegeben.

Eine aktive Fahrerassistenz wird darüber hinaus besonders vorteilhaft durch eine Verschiebung des Mittelpunkts einer Kennlinie (Centerpunkt-Verschiebung), beispielsweise der Kennlinie  $K_A$  oder  $K_B$  realisiert. In Fig.3 ist dargestellt, wie eine Centerpunkt-Verschiebung zusätzlich zu einer in der Fig.2 gezeigten Momentenveränderung durchgeführt wird. Analog zur Fig.2 wird das Moment A ( $M_{\text{Lenkung}}$ ) durch aktive Aufbringung des Zusatzmoments C ( $M_{\text{Motor}}$ ) verringert. Die resultierende Kennlinie  $K_C$  (gepunktete Kurve in Fig.3) mit einer geringeren Betätigungskraft gegenüber der ursprünglichen Kennlinie (durchgezogene Kurve  $K_A$ )

entspricht hier der in Fig.2 gezeigten modifizierten Kennlinie  $K_B$  (gestrichelte Kurve in Fig.3 und Fig.2) mit einer zusätzlichen Verschiebung des Mittelpunkts  $M_{CF,0}$ . Dadurch erfährt der Fahrer eine stärkere Unterstützung seiner Lenktätigkeit in einer bestimmten Richtung als ein Hinweis darauf, in welche Richtung er lenken soll. Mit diesem System kann die Lenkempfehlung an den Fahrer, in welche Richtung er lenken soll, besonders vorteilhaft gegeben werden.

In der Fig.4a ist dargestellt, wie eine Grundkennlinie  $K_A$  nach Maßgabe der Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_{Kfz}$  variiert wird. In dem gezeigten Beispiel wird bei einer geringeren Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_{Kfz}$ , wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit unterhalb eines ersten Grenzwerts  $V_{Kfz,1}$  liegt, d.h. wenn  $V_{Kfz} < V_{Kfz,1}$  gilt, die Grundkennlinie  $K_A$  durch einen Verstärkungsfaktor  $V$  ( $1/\lambda$ ) größer 1, hier z.B. einen Faktor 2 modifiziert. Es resultiert eine modifizierte, geschwindigkeitskorrigierte Kennlinie (Kennlinie  $K_D$  in Fig.4a). Andererseits wird bei einer größeren Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_{Kfz}$ , wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit oberhalb eines zweiten Grenzwerts  $V_{Kfz,n}$  liegt, d.h. wenn  $V_{Kfz} > V_{Kfz,n}$  gilt, die Grundkennlinie  $K_A$  durch einen Verstärkungsfaktor  $V$  ( $1/\lambda$ ) kleiner 1, hier z.B. einen Faktor  $1/2$  modifiziert. Es resultiert eine modifizierte, geschwindigkeitskorrigierte Kennlinie (Kennlinie  $K_E$  in Fig.4a).

Die Variation des Verstärkungsfaktor  $V$  ( $1/\lambda$ ) nach Maßgabe der Geschwindigkeit zeigt Fig.4b. Bis zu dem ersten Grenzwert der Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_{Kfz,1}$  bleibt der Verstärkungsfaktor  $V$  bei einem ersten, höheren Wert  $V_1$ , hier z.B. einen Faktor von 2. Er nimmt dann kontinuierlich mit steigender Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_{Kfz}$  ab

(Regelungsbereich R) und erreicht ab dem zweiten Grenzwert der Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_{Kfz,n}$ , d.h. wenn  $V_{Kfz} > V_{Kfz,n}$  gilt, einen zweiten, niedrigeren Wert  $V_n$ , hier z.B. einen Faktor von  $1/2$ .

Bei der in der Fig.5 dargestellten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Ansteuerung des Elektromotors der Servolenkung wird das Lenkradmoment des Fahrers mittels eines Momentensensors erfasst.

Eine Variation der Lenkunterstützung kann z.B. in Abhängigkeit der Fahrzeuggeschwindigkeit (ähnlich einer Parameterlenkung) erfolgen, wie es in Fig.4a und 4b dargestellt wird. Erfindungsgemäß erfolgt die Variation vorzugsweise durch den Verstärkungsfaktor V. Andere Berechnungsvorschriften sind allerdings auch möglich.

Eingangsgrößen für die Ermittlung sind ein vom Fahrer aufzubringendes Moment  $M_{\text{Fahrer}}$  31, ein vom Fahrer maximal aufbringbares Moment  $M_{\text{Dr,max}}$  32, die Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_{Kfz}$  33, und eine vom Fahrer direkt oder indirekt vorgebbare Steuervariablen ST 34. Mit Hilfe der Steuervariablen ST 34 kann vorteilhaft zwischen verschiedenen Kennlinien und Variationsmöglichkeiten gewählt werden.

Nach Maßgabe der Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_{Kfz}$  33 und der Steuervariablen ST 34 wird in einer Ermittlungseinheit 35, vorzugsweise nach einer vorgegebenen oder vorgebbaren Funktion 36 ein Verstärkungsfaktor V 37 bestimmt.

Beim Verstärkungsfaktor V, entsprechend  $1/\lambda$ , wird durch eine Begrenzerfunktion 38, ein minimaler Wert für den Verstärkungsfaktor V 39 mitberücksichtigt, der sich aus dem Verhältnis des vom Fahrer aufzubringenden Moments  $M_{\text{Fahrer}}$  31

und dem vom Fahrer maximal aufbringbaren Moment  $M_{Dr,max}$  32 ergibt 40. Durch diese momentenabhängige Begrenzung des Verstärkungsfaktors  $V$  wird verhindert, dass bei einer Reduktion der Lenkunterstützung, bei einem Verstärkungsfaktor  $V$  kleiner „Eins“ ( $V < 1$ ) das vom Fahrer aufzubringende Moment  $M_{Dr,max}$  32 nicht zu stark und ggf. unkontrolliert ansteigt.

Zur Normierung wird von dem so ermittelten Verstärkungsfaktor  $V$  41 der Wert „Eins“ abgezogen ( $V - 1$ ) 42 und der modifizierte, um „Eins“ verminderte Verstärkungsfaktor ( $V_{mod} - 1$ ) 43 wird dem vom Fahrer aufzubringenden Moment  $M_{Fahrer}$  31 überlagert 44. Zu diesem überlagerten Moment 45 wird ggf. zusätzlich ein veränderliches Moment  $M_{CF,0}$  46, insbesondere zwecks Centerpunkt-Verschiebung, berücksichtigt 47. Durch das veränderliche Moment  $M_{CF,0}$  werden vorteilhaft vom Fahrer unabhängige Momenteneingriffe berücksichtigt, wodurch eine Verschiebung der Grundlenkungs Kennlinie erfolgt. Auf diese Weise ist eine aktive Fahrerassistenz auf Momentenbasis zu realisieren. Diese Fahrerassistenz wirkt im Sinne einer Lenkempfehlung für den Fahrer durch ein hier nicht dargestelltes übergeordnetes Regelsystem. Umgekehrt kann durch eine Momentenerhöhung das Lenken in eine Richtung erschwert werden. Im Falle einer Lenkempfehlung für den Fahrer wird das Zusatzmoment  $M_{CF,0}$  46 so lange in Richtung des Zielkurses um ein bestimmtes Deltamoment erhöht, bis der vom übergeordneten Regelsystem berechnete Lenkwinkel (entspricht dem Zielkurs des Fahrzeugs) vom Fahrer eingestellt ist (Centerpunkt-Verschiebung). Ignoriert der Fahrer die Lenkempfehlung, indem er den gewünschten Vorgaben nicht folgt, so werden die aufgrund der Lenkempfehlung berechneten Zusatzmomente  $M_{CF,0}$  46 wieder langsam, d.h. schrittweise auf den Wert „Null“ ( $M_{CF,0} = 0$ ) reduziert. Auch

eine Warnung vor kritischen Fahrsituationen ist durch eine geeignete Vorgabe des Zusatzmoments möglich.

Als Ausgangsgröße wird ein resultierendes Motormoment  $M_{\text{Mot}}$  48 gebildet.

In der Fig.6 ist eine andere Ausführungsform der Erfindung gezeigt, in der auf den Einsatz eines Momentensensors zur Erfassung des Handmoments des Fahrers  $M_{\text{Fahrer}}$  verzichtet wird. Das für die Momentenüberlagerungs-Funktion erforderliche Moment des Torsionsstabs der Lenkung wird rekonstruiert. Es wird ein ermitteltes oder geschätztes Handmoment des Fahrers  $M_{\text{Dr,mittel}}$  51 an Stelle des vom Fahrer aufzubringendes Moment  $M_{\text{Fahrer}}$  31 in Fig.5 als Eingangsgröße eingesetzt, neben dem vom Fahrer maximal aufbringbaren Moment  $M_{\text{Dr,max}}$  52, der Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_{\text{Kfz}}$  53, der vom Fahrer direkt oder indirekt vorgebbaren Steuervariablen ST 54.

In der Ermittlungseinheit 55 wird auf Grundlage der Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_{\text{Kfz}}$  53 und der Steuervariablen ST 54 wird nach einer vorzugsweise vorgegebenen oder vorgebbaren Funktion 56 eine Skalierungsfaktor  $\lambda$  57, entsprechend einem Verstärkungsfaktor  $V$  ( $V = 1 / \lambda$ ), bestimmt.

Aus dem ermittelten oder geschätzten Handmoment des Fahrers  $M_{\text{Dr,mittel}}$  51 und dem vom Fahrer maximal aufbringbaren Moment  $M_{\text{Dr,max}}$  52 wird ein maximaler Skalierungsfaktor  $\lambda_{\text{max}}$  bestimmt 60. Dieser Wert dient als Eingangsgröße 59 für die Begrenzerfunktion 58. Durch die Begrenzung des Skalierungsfaktor  $\lambda$  durch diese Funktion 58 wird verhindert, dass bei einer Reduktion der Lenkunterstützung

bei einem Skalierungsfaktor  $\lambda$  größer „Eins“ ( $\lambda > 1$ ) und damit einem Verstärkungsfaktor  $V$  kleiner „Null“ ( $V < 0$ ) das vom Fahrer aufzubringende Moment  $M_{Dr,max}$  52 zu stark und ggf. unkontrolliert ansteigt.

Zur Normierung wird so ermittelte Skalierungsfaktor  $\lambda$  61 vom Wert „Eins“ abgezogen ( $1 - \lambda_{mod}$ ) 62 und der so normierte Wert ( $1 - \lambda_{mod}$ ) 63 wird dem ermittelten oder geschätzten Wert  $M_{Dr,mittel}$  51 für das vom Fahrer aufzubringende Moment überlagert 64.

Zu diesem überlagerten Moment 65 wird ggf. zusätzlich das veränderliche, vom Fahrer unabhängige Moment  $M_{CF,0}$  66, insbesondere zwecks Centerpunkt-Verschiebung, überlagert 67. Das Ergebnis ergibt den Ausgangswert für das Überlagerungsmoment  $M_{Mot}$  68.

In der Fig.7 ist eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Servolenkung mit einem elektromechanischen Aktuator dargestellt, bei der ein Moment am Torsionsstab 5 bestimmt wird auf Grundlage von Signalen von Drucksensoren 71,72 in den hydraulischen Arbeitskammern 18,19 der Servolenkung. Das Grund-Lenkssystem mit hydraulischer Unterstützung ist identisch zu dem in Fig.1 gezeigten System und wird daher nicht mehr im einzelnen erläutert.

In der Fig.8 ist die Ermittlung des Moments am Drehstab auf Grundlage von einem ermittelten hydraulischen Druck in den Arbeitskammern der Servolenkung dargestellt. Der (hydraulische) Unterstützungsdruck  $P_{Servo}$  ergibt sich aus der Differenz des hydraulischen Drucks in der rechten Arbeitskammer  $P_{AK,Re}$  und in der linken Arbeitskammer  $P_{AK,Li}$

$(P_{\text{Servo}} = P_{\text{AK,Re}} - P_{\text{AK,Li}})$ . Die entsprechende Kennlinie der Grundlenkfunktion ist als durchgezogene Linie  $K_A$  in Fig.8 eingetragen. Aus einem bestimmten, auf Grundlage der Drucksensoren 71,72 ermittelten Wert für den Unterstützungsdruck  $P_{\text{Servo}}$ , hier z.B.  $P_M$  in Fig.8, kann über die Kennlinie  $K_A$  ein zugehöriges Drehmoment  $M_{\text{Dr,mittel}}$  am Drehstab ermittelt werden. Die gestrichelte Linie stellt die zuvor beschriebene (siehe Fig.2) Kennlinie dar mit einem positiven Unterstützungsdruck für eine Rechtsdrehung (rechte Hälfte) und Linksdrehung (linke Bildhälfte). Sie entspricht daher dem Betrag der gemessenen Druckdifferenz  $P_{\text{AK,Re}} - P_{\text{AK,Li}}$ .

Fig.9 zeigt schematisch eine dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Servolenkung mit einem elektromechanischen Aktuator und Ermittlung des Moments am Drehstab auf Grundlage von Signalen von dem Drehwinkelsensoren am Motor 26 (Motorwinkel  $\varphi_{\text{Mot}}$ ) und einem weiteren Drehwinkelsensor 73 an der Lenkradwelle (Ritzelwinkel  $\delta_T$ ) der Servolenkung. Das Grund-Lenksystem mit hydraulischer Unterstützung ist identisch zu dem in Fig.1 gezeigten System und wird daher nicht mehr im einzelnen erläutert. Das Moment am Torsionsstab 5 wird durch eine Differenz-Winkelmessung auf Grundlage der Messsignale der Sensoren 26, 73.

Dazu wird aus dem Motorwinkel  $\varphi_{\text{Mot}}$  der Lenkradwinkel  $\delta_H$  abgeleitet nach der Beziehung  $\delta_H = v * \varphi_{\text{Mot}}$ . Das Moment am Torsionsstab  $M_{\text{Dr}}$  bzw.  $M_{\text{Drehstab}}$  wird dann mittels der bekannten Steifigkeit des Torsionsstabs 5  $C_T$  sowie der gemessenen Winkeldifferenz bestimmt nach der Beziehung  $M_{\text{Dr,mittel}} = C_T * (\delta_H - \delta_T)$ .

### Patentansprüche

1.   Hydraulische Servolenkung mit einem Lenkgetriebe und mit einem hydraulischen Aktuator zur Unterstützung einer Lenkradbetätigung durch den Fahrer eines Fahrzeugs, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, mit einem an die Lenksäule angekoppelten Elektromotor als Zusatzmoment-Aktuator zur aktiven Aufbringung eines Zusatz-Lenkmoments, und mit einer elektronischen Steuerungs- und Regelungseinheit (ECU), dadurch gekennzeichnet, dass die elektronische Steuerungs- und Regelungseinheit (ECU) eine Ermittlungseinheit zur Ermittlung eines Lenkmoments und eine Auswerte- und Auswahl-schaltung aufweist, mittels der unter Berücksichtigung des ermittelten Lenkmoments oder einer davon abgeleiteten Größe sowie einer gewählten Lenkungs-Grundkennlinie (Grundkennlinie) ein Gesamtwert für das Aufbringen des Zusatz-Lenkmoments ermittelt wird, wobei der Gesamtwert für das aufzubringende Zusatz-Lenkmoments einen fahrerabhängigen Anteil und einen fahrerunabhängigen Anteil aufweist.
2.   Servolenkung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Variation der Aufbringung des Zusatz-Lenkmoments verschiedene vorgegebene Kennlinien wählbar sind.
3.   Servolenkung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kennlinie eine Verstärkungskennlinie darstellt, die das aufzubringende Zusatz-Lenkmoment in Abhängigkeit des



vom Fahrer aufgebrauchten Lenkmoments sowie eines Verstärkungsfaktors übermittelt.

4. Servolenkung einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass durch eine vom Fahrer direkt oder indirekt vorgebbare Steuervariable ST verschiedene vorgegebene Kennlinien zur Variation der Aufbringung des Zusatz-Lenkmoments wählbar sind.
5. Servolenkung einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die elektronische Steuerungs- und Regelungseinheit (ECU) redundant ausgeführt ist .
6. Servolenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektromotor über ein Getriebe, vorzugsweise ein Riemengetriebe an die Lenksäule angekoppelt ist.
7. Servolenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstärkungsfaktoren der verschiedenen Kennlinien in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit veränderbar sind.
8. Servolenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass mittels des fahrerunabhängigen Anteils eine Lenkempfehlung für den Fahrer erfolgt.
9. Servolenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass mittels des fahrerunabhängigen Anteils eine Stabilisierung des Fahrzeugs bzw. Erhöhung der Fahrzeugdynamik erfolgt.

10. Servolenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass mittels des fahrerunabhängigen Anteils eine Anpassung des Zusatz-Lenkradmoment an einen Fahrzeugkurs und einen Fahrbahnverlauf erfolgt.
11. Servolenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Variationen des Zusatz-Lenkmoments durch einen Verstärkungsfaktor  $V$  bzw. einen Skalierungsfaktor  $\lambda$  nach der Beziehung  $V = 1/\lambda$  erfolgt.
12. Servolenkung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Skalierungsfaktor  $\lambda$  oder Verstärkungsfaktor  $V$  (mit  $V = 1/\lambda$ ) momentenabhängig auf einen vorgegebenen Wert begrenzt wird.
13. Servolenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur aktiven Aufbringung des Zusatz-Lenkmoments als eine Einheit ausgebildet sind, die als ein Modul an einen lenkradseitigen Endabschnitt des Lenkventils einer hydraulischen Servolenkung angeordnet ist.
14. Verfahren zur Regelung einer hydraulischen Servolenkung, bei dem die Lenkradbetätigung durch den Fahrer eines Fahrzeugs, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, mit einer hydraulischen Kraft bzw. Druck unterstützt wird und bei dem durch einen an die Lenksäule angekoppelten Elektromotor als Zusatzmoment-Aktuator ein Zusatz-Lenkmoments aktiv aufgebracht wird durch eine elektronische Steuerung bzw. Regelung des

Elektromotors,  
dadurch gekennzeichnet, dass aus einem  
fahrerabhängigen Anteil und einem fahrerunabhängigen  
Anteil unter Berücksichtigung des Zusatz-Lenkmoments  
oder einer davon abgeleiteten Größe sowie einer  
vorgewählten Lenkungs-Grundkennlinie (Grundkennlinie)  
ein Gesamtwert für das Zusatz-Lenkmoment ermittelt  
wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet, dass eine Variation der  
Aufbringung des Zusatz-Lenkmoments durch eine Auswahl  
einer Kennlinie aus mehreren verschiedenen,  
vorgegebenen Kennlinien erfolgt.

## **Zusammenfassung**

### **Hydraulische Servolenkung**

Eine hydraulische Servolenkung mit einem Lenkgetriebe und mit einem hydraulischen Aktuator zur Unterstützung einer Lenkradbetätigung durch den Fahrer eines Fahrzeugs, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, mit einem an die Lenksäule angekoppelten Elektromotor als Zusatzmoment-Aktuator zur aktiven Aufbringung eines Zusatz-Lenkmoments, und mit einer elektronischen Steuerungs- und Regelungseinheit (ECU), die eine Ermittlungseinheit zur Ermittlung eines Lenkmoments und eine Auswerte- und Auswahl-schaltung aufweist, mittels der unter Berücksichtigung des ermittelten Lenkmoments oder einer davon abgeleiteten Größe sowie einer gewählten Lenkungs-Grundkennlinie (Grundkennlinie) ein Gesamtwert für das Aufbringen des Zusatz-Lenkmoments ermittelt wird, wobei der Gesamtwert für das aufzubringende Zusatz-Lenkmoments einen fahrerabhängigen Anteil und einen fahrerunabhängigen Anteil aufweist.

(Fig.3)